



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑩ DE 196 01 793 A 1

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 23 C 4/04**  
C 23 C 4/06  
C 23 C 4/10

⑳ Aktenzeichen: 196 01 793.9  
㉑ Anmeldetag: 19. 1. 96  
㉒ Offenlegungstag: 24. 7. 97

DE 196 01 793 A 1

㉗ Anmelder:  
Audi AG, 85057 Ingolstadt, DE; Sulzer Metco AG,  
Wohlen, CH

㉘ Vertreter:  
Le Vrang, K., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 85139  
Wettstetten

㉙ Erfinder:  
Münnighoff, Hans, Dipl.-Ing., 85080 Gaimersheim,  
DE; Lindner, Horst, Dipl.-Ing., 85051 Ingolstadt, DE;  
Barbezat, Gerard, Glattbrugg, CH

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	43 41 537 A1
EP	04 87 273 A1
WO	91 10 755 A2

⑤④ Verfahren zum Beschichten von Oberflächen

⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Beschichtung von Oberflächen aus Leichtmetalllegierungen, insbesondere von Zylinderlauf-  
flächen von Zylindergehäusen von Hubkolbenmaschinen,  
durch thermisches Aufspritzen von Hartstoffen wird vorge-  
schlagen, zur Erzielung verschleißfester und tribologisch  
günstiger Oberflächen die Beschichtung durch Aufspritzen  
eines pulverförmigen Verbundwerkstoffes mit Al, Fe und Si  
auszuführen. Ferner kann der Beschichtung hexagonales  
Bornitrid als Festschmierstoff zugegeben werden.

DE 196 01 793 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten von Oberflächen von Werkstücken aus Leichtmetalllegierungen, insbesondere der Zylinderlaufflächen von Zylindergehäusen von Hubkolbenmaschinen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Ein derartiges Verfahren beschreibt beispielsweise die DE 44 13 306 C1 anhand einer Bremsscheibe aus einer Leichtmetalllegierung, bei der im Flammsspritzverfahren als Metallierungspulver Aluminium-, Magnesium- oder Titanlegierungen und als Verstärkungspartikel aus keramischem Material Siliziumkarbid, Aluminiumoxid, Borkarbid, Magnesiumoxid und/oder Titandiborid und ggf. als Gleitstoffpartikel Bornitrid oder Graphit zugesetzt werden. Die so gebildete Verstärkungsschicht soll mindestens 1 mm Dicke aufweisen. Als Leichtmetalllegierungen kommen insbesondere Magnesium- oder Aluminiumlegierungen in Frage.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art aufzuzeigen, mit dem tribologisch besonders günstige und fertigungstechnisch gut beherrschbare Beschichtungen geschaffen werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den weiteren Patentansprüchen entnehmbar.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, auf das Werkstück einen pulverförmigen Verbundwerkstoff mit Al-Fe-Si thermisch aufzuspritzen, wobei der Verbundwerkstoff bei einem Werkstück aus einer Aluminiumlegierung in eine Matrix aus einer Aluminiumlegierung eingebunden sein kann. Durch das thermische Aufspritzen, bevorzugt durch Plasmaspritzen, und die schnelle Erstarrung der Schmelze werden intermetallische AlFe-Verbindungen in im Matrixwerkstoff übereutektisch gelöste AlFeSi-Verbindungen (ohne Primärkristallabscheidungen) homogen eingebunden und bilden eine homogene Beschichtung, deren Wärmeexpansionsverhalten und E-Modul dem Grundwerkstoff ähnlich ist (gute Thermoschockbeständigkeit), bei einer Härte von bis zu 600 HV. Die Beschichtung weist ferner eine hohe Zähigkeit, eine gute Zerspanbarkeit (Honbarkeit) und eine tribologisch vorteilhafte Topographie auf.

Der pulverförmig aufgebrauchte und beim thermischen Spritzen teilweise schmelzende Verbundwerkstoff wird bevorzugt gebildet durch AlSiFe-Verbindungen, die in der angegebenen Zusammensetzung in übersättigter Form in einer Matrix aus einer Leichtmetalllegierung, bevorzugt einer Aluminiumlegierung (Aluminium mit üblichen Zusätzen und/oder Verunreinigungen), eingeschlossen sind und beim Aufspritzen teilweise in Lösung gehen. Dabei ist das Verhältnis der AlFe-Verbindungen nach Partikelgröße und chemischer Zusammensetzung zur Bildung in der Beschichtung eingebetteter intermetallischer AlFe-Verbindungen entsprechend abgestimmt.

In Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, der aufgebrauchten Beschichtung Festschmierstoffe, insbesondere hexagonales Bornitrid, zuzugeben, um insbesondere bei Anwendung der Erfindung an Zylinderlaufflächen für Hubkolben-Brennkraftmaschinen eine weitere Steigerung der tribologischen Eigenschaften zu erzielen.

Eine besonders bevorzugte chemische Zusammensetzung der Beschichtung enthält 3 bis 20% Eisen, insbesondere 5 bis 8%, 13 bis 25% Silizium, insbesondere 14 bis 18% und 3 bis 40% hexagonales Bornitrid, insbeson-

dere 12 bis 18%. Damit sind Zylinderlaufflächen erzielbar, die neben der erforderlichen Härte und Verschleißfestigkeit sowie sehr günstigen Gleiteigenschaften fertigungstechnisch gut bearbeitbar bzw. honbar sind.

Bei bevorzugter Anwendung des Plasmaspritzens zum Aufbringen der Beschichtung wird ein Argon-Wasserstoff-Plasma verwendet, mit dem unter anderem unerwünschte Oxidbildungen in Grenzen gehalten werden.

Die Beschichtung kann vorzugsweise eine Schichtdicke von 30 bis 500 µm, insbesondere 50 bis 200 µm und durch Variation des Eisengehaltes eine Vickershärte von 250 bis 600 HV aufweisen. Eine derartige Beschichtung hat sich für Zylinderlaufflächen als besonders vorteilhaft und verschleißbeständig erwiesen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist im folgenden mit weiteren Einzelheiten näher beschrieben.

## Ausführungsbeispiel

Bei einem Zylinderkurbelgehäuse für eine Hubkolben-Brennkraftmaschine mit einer übereutektischen Aluminium-Silizium-Legierung mit 17% Silizium wurde nach dem Bohren der Zylinder auf ein definiertes Rohmaß durch Plasmaspritzen in einem Argon-Wasserstoff-Plasma und unter Schutzgas (Stickstoff) eine Laufflächenbeschichtung aufgebracht.

Dabei wurde ein Verbundwerkstoff in Pulverform mit einer Partikelgröße von 60 µm und folgender chemischer Zusammensetzung verwendet:

Fe 10%

Si 15%

BN (hexagonal) 15%

Rest Aluminium und übliche Beimengungen.

Dieser Verbundwerkstoff ist gebildet aus Al-Fe-Si-Verbindungen, die übersättigt in der Aluminiummatrix unter teilweiser Bildung von intermetallischen AlFe-Verbindungen eingeschlossen sind.

Beim Plasmaspritzen dieses Verbundwerkstoffes unter Schutzgas wird aufgrund der teilweisen Schmelzung und der schnellen Erstarrung auf dem Grundwerkstoff (Zylinderkurbelgehäuse) eine homogene Beschichtung ohne Ausscheidung von Si-Kristallen gebildet, wobei Si und Fe in übersättigter Lösung mit dem Matrixwerkstoff vorliegen.

Diese intermetallische AlFe-Verbindungen enthaltende Beschichtung kann je nach deren Fe-Gehalt eine Vickershärte von bis zu 600 HV aufweisen, bei einer gezielten Porosität, die sich unter anderem durch die gewählte Pulver-Partikelgröße bestimmt.

Nach dem Aufbringen der Beschichtung wurde die Zylinderlauffläche mit Diamanthonleisten zur Herstellung der geforderten geometrischen Genauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit gehont.

Die so gebildeten Laufflächen weisen eine hohe Härte sowie Zähigkeit auf, bei hervorragenden tribologischen Eigenschaften. Sie sind gut zerspanbar bzw. honbar, so daß eine geringe Mikrorauigkeit bei einer gezielten Porosität vorliegt. Ferner weisen die Laufflächen gute Dämpfungseigenschaften auf. Aufgrund des volumemäßig geringen Fe-Gehaltes ist ein Recycling des Zylindergehäuses problemlos möglich. Zudem ist der vorgeschlagene Verbundwerkstoff kostengünstiger, gut beherrschbar in seiner Spritzbarkeit (Prozeßsicherheit) und ermöglicht eine hohe Pulverausbeute.

Die Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Als thermisches Spritzverfahren kann auch Flammsspritzen, Laserspritzen, etc. einge-

setzt sein. Anstelle von Zylinderlaufflächen können auch andere aus Leichtmetall hergestellte Bauteile, z. B. Tassenstößel der Ventilsteuerung, Ölpumpengehäuse, etc. beschichtet werden. Anstelle einer Aluminiumlegierung als Substrat kann auch eine Magnesiumlegierung verwendet sein. 5

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Beschichtung von Oberflächen 10  
von Werkstücken aus Leichtmetalllegierungen, insbesondere der Zylinderlaufflächen von Zylindergehäusen von Hubkolbenmaschinen, durch thermisches Aufspritzen von Hartstoffen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Beschichtung durch Aufspritzen eines pulverförmigen Verbundwerkstoffes mit Al, Fe und Si gebildet ist. 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbundwerkstoff gebildet wird aus Al—Fe—Si-Verbindungen, die in einer übersättigten Matrix aus einer Leichtmetalllegierung, insbesondere einer Aluminiumlegierung, eingeschlossen sind. 20
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis Al—Fe nach Partikelgröße und chemischer Zusammensetzung zur Bildung eingebetteter intermetallischer AlFe-Verbindungen abgestimmt ist. 25
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß das Pulver unter Schutzgas (Stickstoff) und mit einer Partikelgröße zwischen 5 µm und 80 µm verdüst wird. 30
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1—4, dadurch gekennzeichnet, daß der aufgespritzte Verbundwerkstoff 3 bis 20%, insbesondere 5 bis 15% Fe und 13 bis 25%, insbesondere 14 bis 18%, Si enthält. 35
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß dem Verbundwerkstoff Festschmierstoffe zugegeben werden. 40
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Festschmierstoff hexagonales Bornitrid zugegeben wird.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß dem aufgespritzten Verbundwerkstoff 3 bis 40%, insbesondere 12 bis 18% BN (hexagonal) zugegeben wird. 45
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung durch Plasmaspritzen hergestellt wird. 50
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Argon-Wasserstoff-Plasma verwendet wird.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schichtdicke von 30 bis 500 µm, insbesondere von 50 bis 200 µm, aufgebracht wird. 55
12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Härte der Schicht durch Variation des Fe-Gehaltes auf 250 bis 600 HV eingestellt wird. 60